

## Aplikasi Sistem Neuro-Fuzzy untuk Pengenalan Kata

Yohanes TDS, Thiang, Suntono Chandra

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra  
e-mail: yohtds@petra.ac.id, thiang@petra.ac.id

### Abstrak

Makalah ini menjelaskan tentang aplikasi sistem hybrid antara neural network dan fuzzy logic yang dinamakan sistem neuro-fuzzy. Dalam penelitian ini, sistem hybrid neuro-fuzzy diaplikasikan untuk pengenalan kata yaitu kata “nol”, “satu”, “dua”, “tiga”, “empat”. Struktur jaringan dari sistem neuro-fuzzy yang digunakan terdiri atas satu input layer, empat hidden layer dan satu output layer.

Sistem ini telah diuji dengan membandingkan struktur neuro-fuzzy dengan neural network. Hasil yang dicapai memperlihatkan bahwa sistem neuro-fuzzy memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem neural network. Waktu pembelajaran sistem neuro-fuzzy lebih cepat dibandingkan dengan neural network. Untuk 270 sampel suara, sistem neuro-fuzzy menyelesaikannya dengan 160.000 iterasi sedangkan neural network membutuhkan 500.000 iterasi. Nilai persentase kebenaran tertinggi dari sistem Neuro-fuzzy mencapai 96,36 % sedangkan sistem neural network saja mencapai 62,86 %.

**Kata kunci :** *neural network, neuro-fuzzy, pengenalan kata.*

### Abstract

*This paper describes implementation of neuro-fuzzy system, a hybrid system between neural network and fuzzy logic. In this research, neuro-fuzzy system is implemented for speech recognition. The words that would be recognized are “nol”, “satu”, “dua”, “tiga”, and “empat”. The neuro-fuzzy system had one input layer, four hidden layers, and one output layer.*

*The experiment was done by compare neuro-fuzzy system with neural network system. The results showed that neuro-fuzzy system give better result than neural network system. Learning time for neuro-fuzzy system was faster than neural network system. Neuro-fuzzy needed 160,000 iterations for learning 270 sound samples. On the contrary, neural network needed 500,000 iterations for learning 270 sound samples. Neuro-fuzzy system could recognize up to 96,36 %. Neural network system could recognize only 62,86 %.*

**Keywords :** *neural network, neuro-fuzzy, speech recognition.*

### Pendahuluan

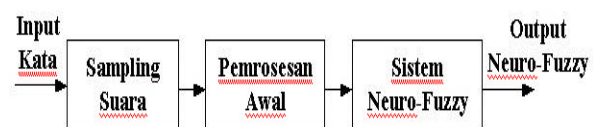
Sistem neural network telah banyak diaplikasikan untuk proses pengenalan suara atau pengenalan kata. Tetapi dalam beberapa kasus, neural network belum dapat memberikan hasil yang baik. Karena itu dalam makalah ini akan dijelaskan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengembangan sistem neural network menjadi sistem hybrid dengan fuzzy logic. Sistem ini dinamakan sistem neuro-fuzzy.

Arsitektur dasar dari sistem ini adalah neural network tetapi data yang diolah sudah berupa data dalam bentuk variabel fuzzy. Ini yang membedakan antara arsitektur neuro-fuzzy dengan arsitektur neural network biasa. Dengan sistem hybrid ini, diharapkan sistem dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Pembahasan makalah ini dimulai dengan motivasi, mengapa penelitian ini dilakukan kemudian dilanjutkan dengan penjelasan disain sistem neuro-fuzzy dan hasil pengujian yang telah dilakukan serta ditutup dengan kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini.

### Deskripsi Sistem

Secara umum sistem yang telah didisain terdiri atas 2 bagian utama. Bagian pertama adalah bagian pemrosesan awal dan bagian kedua adalah sistem neuro-fuzzy itu sendiri. Hasil dari bagian pemrosesan awal akan menjadi input bagi sistem neuro-fuzzy. Blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

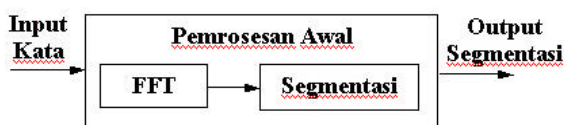
**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 November 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 3, nomor 1, Maret 2003.

Pengambilan sampel suara dilakukan dengan beberapa batasan berikut:

- Pengambilan sampel suara dilakukan dalam rentang waktu 1 detik.
- Frekuensi sampling yang digunakan adalah 11.025 Hz dengan resolusi 8 bit sehingga dalam 1 detik ada 11.025 data sampling.

### Sistem Pemrosesan Awal

Bagian pemrosesan awal terdiri atas dua proses utama yaitu Fast Fourier Transform (FFT) dan segmentasi. Blok diagram pemrosesan awal dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Pemrosesan Awal

Sampel suara yang didapatkan dari proses sampling suara merupakan sinyal suara manusia dalam domain waktu. Pada bagian ini, sinyal suara tersebut akan diubah ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) sehingga akan didapatkan sinyal suara yang terpetakan dalam spektrum frekuensi. Dari 11.025 data sampling dalam satu sampel suara, hanya 8192 data yang digunakan sebagai input dari FFT. Output dari FFT ditransformasikan ke dalam rentang frekuensi suara manusia antara 150 Hz sampai dengan 3600 Hz. Magnitude dari frekuensi dalam kisaran frekuensi tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [1]:

$$F = E \times \frac{11025}{8192} \quad (1)$$

$$M(f) = \sqrt{\text{Data Re}(E)^2 + \text{Data Im}(E)^2} \quad (2)$$

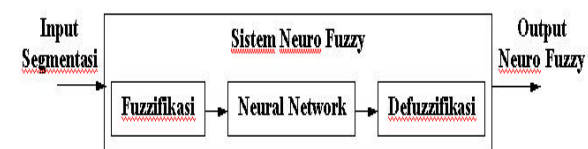
dimana  $E$  adalah point output dari FFT,  $F$  adalah frekuensi,  $M(f)$  adalah magnitude pada suatu frekuensi,  $\text{Data Re}$  adalah output real FFT pada point ke  $E$  dan  $\text{Data Im}$  adalah output imajiner FFT pada point ke  $E$ . Nilai magnitude  $M(f)$  akan dinormalisasikan dalam rentang nilai antara 0 sampai 1.

Setelah data sampel suara diubah ke domain frekuensi, data sampel suara akan disegmentasi dalam 8 segmen melalui proses segmentasi.

Setiap segmen mempunyai lebar rentang frekuensi sebesar 431,25 Hz yang didapat dari pembagian lebar frekuensi suara manusia 150 Hz sampai 3600 Hz dengan 8. Satu blok segmen frekuensi akan diwakili oleh satu nilai magnitude frekuensi dan nilai ini didapatkan dengan menghitung rata-rata magnitude dari semua frekuensi yang ada dalam segmen tersebut. Nilai rata-rata inilah yang akan menjadi input dari arsitektur neuro-fuzzy.

### Arsitektur Neuro-Fuzzy

Blok diagram dari sistem neuro-fuzzy dapat dilihat pada gambar 3.



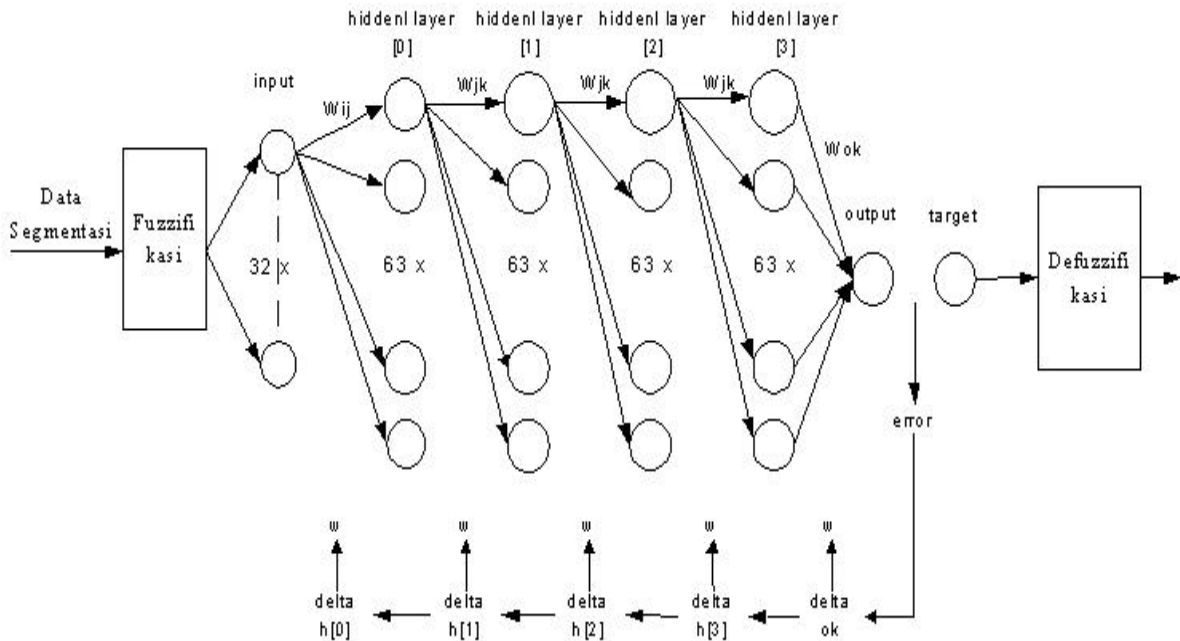
Gambar 3. Blok Diagram Sistem Neuro-Fuzzy

Arsitektur neuro-fuzzy yang telah didisain dapat dilihat pada gambar 4. Beberapa spesifikasi dari arsitektur neuro-fuzzy yang telah dibuat adalah sebagai berikut:

- 32 neuron dalam input layer
- 1 neuron dalam output layer
- 4 buah hidden layer dengan maksimal 63 neuron dalam satu hidden layer
- Metode training yang digunakan adalah Back Propagation Network
- Besar error limit yang digunakan antara 0 sampai 1
- Besar learning rate antara 0,1 – 0,4 dan besar momentum term antara 0,6 – 0,9
- Weight (bobot) diinisialisasikan secara acak antara -0,5 sampai 0,5

Hasil pemrosesan awal berupa data sampel suara yang telah disegmentasi dalam 8 segmen, akan menjadi input dari sistem neuro-fuzzy. Karena itu dalam sistem ini ada 8 input  $x_p = \{x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{p8}\}$ .

Tahap pertama dari sistem neuro-fuzzy adalah proses fuzzyfikasi. Pada proses ini, nilai crisp dari setiap input data segmentasi sampel suara diubah menjadi variabel fuzzy dan nilai gradenya. Karena dalam input membership function hanya terjadi overlap antar 2 label (fuzzy set) saja, maka setiap input data segmentasi sampel suara akan menghasilkan output fuzzyfikasi sebanyak 4 data yaitu 2 data variabel fuzzy dan 2 data nilai gradenya.



Gambar 4. Arsitektur Neuro-Fuzzy

Karena sistem ini memiliki 8 input yang diambil dari hasil segmentasi data sebanyak 8 segmen, maka output proses fuzzyfikasi akan menghasilkan 32 data  $x_i = \{x_{d0}, x_{d1}, \dots, x_{d31}\}$ . Oleh karena itu pada input layer dari sistem neural network terdapat 32 neuron. Selanjutnya menghitung nilai net-input pada masing-masing node pada hidden layer dengan menggunakan persamaan berikut:

$$net_{ji}^h = \sum_{j=1}^N (w_{ji}^h \cdot x_i) \quad (3)$$

Output dari masing-masing node pada hidden layer dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$o_j^h = f_j^h(net_j^h) \quad (4)$$

Nilai pada node output layer dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

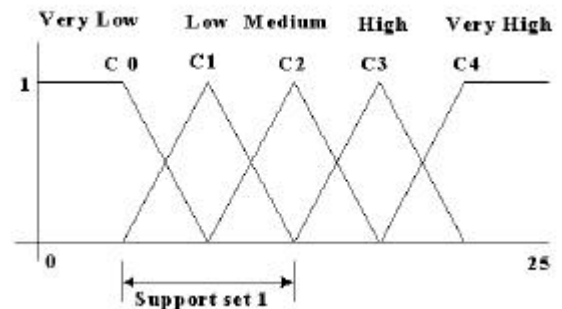
$$net_{kkj}^o = \sum_{j=1}^L (w_{kj}^o \cdot o_j^h) \quad (5)$$

Output dari sistem neural network diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

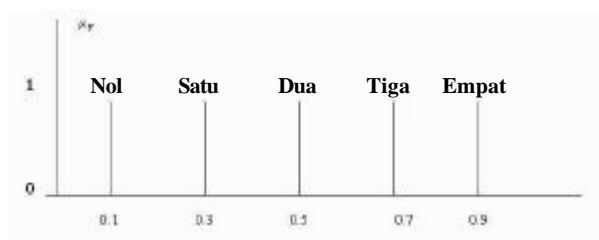
$$O_k = f_k^o(net_k^o) \quad (6)$$

Karena output dari sistem neural network hanya ada satu nilai maka proses defuzzyfikasi dilakukan dengan sederhana yaitu mencari membership function yang terdekat.

Bentuk input membership function yang digunakan dalam sistem ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Input Membership Function



Gambar 6. Output Membership Function

Input membership function mempunyai 5 label atau variabel yaitu very low, low, medium, high dan very high. Nilai variabel very low adalah 0,1, nilai variabel low adalah 0,3, nilai variabel medium adalah 0,5, nilai variabel high adalah 0,7 dan nilai variabel very high adalah 0,9. Output membership function berbentuk singleton dan mempunyai 5 variabel yang mewakili 5 buah

kata yang akan dikenali. Gambar 6 menunjukkan bentuk membership function yang digunakan.

## Hasil Pengujian

Pengujian sistem neuro-fuzzy untuk pengenalan kata telah dilakukan dengan variasi parameter learning rate, variasi parameter momentum dan variasi jumlah hidden layer. Pengujian yang sama juga dilakukan pada neural network tanpa fuzzy agar diperoleh perbandingan antara sistem neuro-fuzzy dengan sistem neural network tanpa fuzzy.

### 1. Pengujian Sistem Neural Network Tanpa Fuzzy

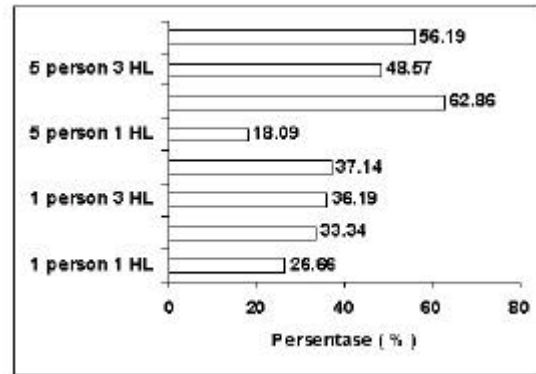
Tabel 1. Pengujian Sistem Neural Network Tanpa Fuzzy

	Learning Rate		Momentum		Dikenali Pada Iterasi Ke :
	0,1 s/d 0,2	0,2 s/d 0,4	0,6	0,8	
1 person 1 HL		✓		✓	27,000
"	✓			✓	100,000
"		✓	✓		194,000
1 person 2 HL		✓		✓	25,000
"	✓			✓	18,500
"		✓	✓		9,900
1 person 3 HL	✓			✓	5,000
"		✓		✓	2,500
"	✓		✓		20,000
1 person 4 HL	✓			✓	2,500
"		✓		✓	7,500
"	✓		✓		15,500
5 person 1 HL		✓		✓	* > 500,000
"	✓			✓	* > 500,000
"		✓	✓		* > 500,000
5 person 2 HL		✓		✓	400,000
"	✓			✓	475,000
"		✓	✓		450,000
5 person 3 HL	✓			✓	445,000
"		✓		✓	* > 500,000
"	✓		✓		* > 500,000
5 person 4 HL	✓			✓	450,000
"		✓		✓	* > 500,000
"	✓		✓		* > 500,000

\* Proses training belum dapat mengenali sampel suara

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian untuk sistem neural network tanpa fuzzy. Dari hasil pengujian terlihat bahwa secara umum learning rate yang kecil menghasilkan perjalanan error yang lebih stabil tetapi dalam proses pengenalan membutuhkan waktu yang lebih lama, berbeda dengan learning rate yang lebih besar membutuhkan waktu yang lebih cepat dalam proses pengenalan.

Berikut adalah grafik tingkat kebenaran pengenalan kata oleh sistem neural network tanpa fuzzy.



Gambar 7. Tingkat Kebenaran Pengenalan Kata dengan Sistem Neural Network tanpa Fuzzy

Dari gambar terlihat bahwa semakin banyak sampel suara, semakin tinggi tingkat kebenaran pengenalan. Tingkat kebenaran tertinggi yang dicapai adalah 62.86%

### 2. Pengujian Sistem Neuro-Fuzzy

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Neuro-Fuzzy

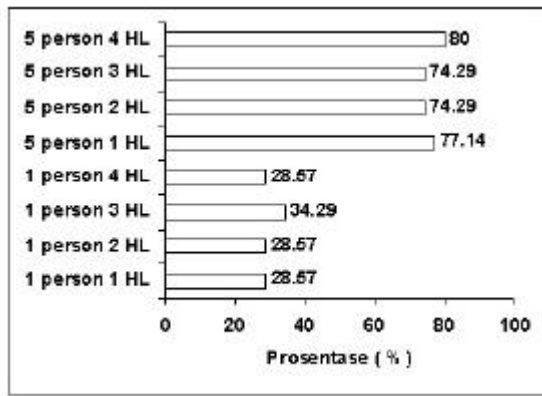
	Learning Rate		Momentum		Dikenali Pada Iterasi Ke :
	0,1 s/d 0,2	0,2 s/d 0,4	0,6	0,8	
1 person 1 HL		✓		✓	300
1 person 2 HL		✓		✓	100
1 person 3 HL		✓		✓	50
1 person 4 HL		✓		✓	140
5 person 1 HL		✓		✓	18,800
5 person 2 HL		✓		✓	15,400
5 person 3 HL		✓		✓	9,800
5 person 4 HL		✓		✓	5,800

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem Neuro-Fuzzy (lanjutan)

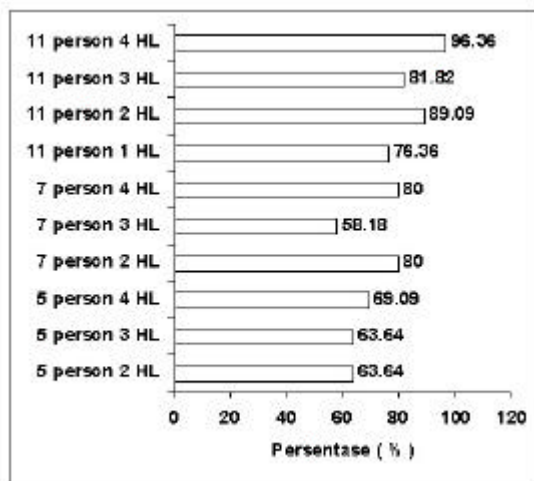
	Learning Rate		Momentum		Dikenali Pada Iterasi Ke :
	0,1 s/d 0,2	0,2 s/d 0,4	0,6	0,8	
5 person 2 HL		✓		✓	88,000
5 person 3 HL		✓		✓	45,000
5 person 4 HL		✓		✓	40,000
7 person 2 HL		✓		✓	86,000
7 person 3 HL		✓		✓	75,000
7 person 3 HL	✓			✓	92,000
7 person 4 HL		✓		✓	86,000
11 person 1 HL		✓		✓	194,000
11 person 2 HL		✓		✓	140,000
11 person 3 HL		✓		✓	90,000
11 person 4 HL		✓		✓	180,000

Dari hasil pengujian terlihat bahwa sistem neuro-fuzzy memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan sistem neural network tanpa fuzzy. Waktu yang diperlukan untuk pengenalan lebih cepat dibandingkan dengan sistem neural network.

Berikut adalah grafik tingkat kebenaran pengenalan kata oleh sistem neuro-fuzzy.



Gambar 8. Tingkat Kebenaran Pengenalan Kata dengan Sistem Neuro-Fuzzy



Gambar 9. Tingkat Kebenaran Pengenalan Kata dengan Sistem Neuro-Fuzzy (lanjutan)

Dari grafik terlihat bahwa tingkat kebenaran tertinggi yang dapat dicapai adalah 96,36%, lebih tinggi bila dibandingkan dengan sistem neural network tanpa fuzzy.

## Kesimpulan

Sistem neural network tanpa fuzzy dapat digunakan untuk pengenalan kata, tetapi membutuhkan waktu yang lama untuk proses learning dan pengenalan. Modifikasi sistem menjadi sistem hybrid neural network dan fuzzy yang dikenal dengan nama Neuro-Fuzzy, memberikan hasil yang lebih baik. Ada peningkatan kecepatan dalam proses learning dan pengenalan.

## Daftar Pustaka

- [1]. Emmanuel C. Ifeachor, Digital Signal Processing, A Practical Approach, Addison Wesley, 1993.
- [2]. Krissusanto, Deddy, Pengendalian Kecepatan Putaran Motor Universal (70W, 100 Vdc / 125 Vac, 0.7 A) Via Suara Manusia Berbasis Jaringan Saraf Tiruan Dengan Pemroses Awal Fast Fourier Transform, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1999.
- [3]. Wijaya, Udi, Pengendalian Peralatan Listrik Pada Ruangan Melalui Perintah Suara Manusia Berbasis Jaringan Saraf Tiruan, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1999.
- [4]. Gunawan, Perencanaan Dan Pembuatan Pengendali Kecepatan Motor Universal (70W, 100 Vdc / 125 Vac, 0.7 A) Melalui Perintah Suara Manusia Berbasis Jaringan Saraf Tiruan, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1997.
- [5]. Nelson Morgan and Herve Bourlard, "Continuous Speech Recognition", IEEE magazine, May 1995, page 25 – 42.
- [6]. Hong Ding dan Madan M. Gupta, "Learning Fuzzy Set Neural Network By Genetic Algorithms", Journal of Intelligent and Fuzzy System, Vol. 5, 1997
- [7]. B.L Theraja, A Text Book of Technology, New Delhi: Nirja Construction and development Co, 1984.
- [8]. Anil K. Jain, Artificial Neural Networks: A Tutorial, Computer Magazine, Vol. 29, No. 3, 1996.
- [9]. Edgar Sanchez-Sinencio. Artificial Neural Networks, New York: IEEE Press, 1992.